

論文

ピア・インストラクションの学習効果に授業内活動がもたらす影響

小椋 賢治^{*1}

要 旨

ピア・インストラクションは、授業中に選択肢問題を出題し、回答の集計結果を参照しながら学生同士で議論することによって知識の定着を図るアクティブラーニング手法である。大人数クラスでも実施可能、知識獲得型の科目に適している、という特徴がある。先行研究により、ピア・インストラクションの効果は選択肢問題の内容に影響されることが知られている。本研究では、ピア・インストラクションの授業に、座席をくじ引きで指定する、授業中にグループワークを実施する、という授業内活動を導入した。その結果、一部の問題で、ピア・インストラクションの学習効果が向上することがあきらかになった。

キーワード：ピア・インストラクション／授業実践／大学教育／協調学習

1. はじめに

ピア・インストラクション（以下、PI）は、ハーバード大の Mazur（1997）が考案した教育手法であり、以下のプロセスで授業が進行する。

- (1) あるトピックについて短い講義をおこなう。
- (2) 教師は選択肢問題を出題する。
- (3) 学生は問題を自分で考えて回答を投票する。
- (4) 教師は投票結果を集計し、提示する。学生は投票結果を参考にしてグループで議論する。
- (5) 同じ問題で再投票する。
- (6) 教師が正答を解説する。

投票の際には、クリッカーと呼ばれる小型投票端末を使用することが多いが、カードを頭上に掲げる、あるいは、スマートフォンを使用することもある。

PI はアクティブラーニング技法のひとつであるが、大人数クラスでも実施可能、知識獲得型の科目に適している、という特徴がある（栗田ほか、2017）。日本の大学教育では、心理学（蔣・溝上、2014）、物理学（新田ほか、2014）、化学（小椋、2016）など文系・理系を問わず、多くの科目で実践されている。

PI の学習効果を高めるためには、選択肢問題の難易度および質が重要とされている。Mazur（1997）によると、第1回投票時における正答率が35から70%の範囲に収まる問題が良問とされている。また、知識の有無を問うよりも、概念理解を問う設問がよい、とされている。要するに、良い問題が良い学習をもたらすのである（溝上、2014）。

PI における個々の問題ごとの学習効果を数値化

するために、Nitta（2010）はPIゲイン（PI効率ともいう）（ η_{PI} ）を提案した（式1）。

$$\eta_{PI} = \frac{(\text{議論後正答率}\%) - (\text{議論前正答率}\%)}{100 - (\text{議論前正答率}\%)} \quad (1)$$

式1から、PIゲインは理論的には1からマイナス∞の値をとりうるが、通常は1から0の範囲に収まることが多い。例えば、議論後に正答率が100%になるような理想的なPIではPIゲインは1を示す。一方、議論の前後で正答率が変化しない場合は、PIゲインは0を示す。さらに、PIゲインがマイナスの値を示す場合は、話し合いによって正答率が低下した、つまり、PIが有効に機能していないことを示す。したがって、PIゲインがマイナスになるような問題あるいは授業は、その原因究明および改善が必要になる。

PIゲインの算出式は、Hake（1998）により提唱された規格化ゲインと同等である。規格化ゲインとは、授業前と授業後に実施したテストにおける得点の伸びる余地に対する実際の得点の伸びを表しており、教師が実施した講義の学習効果を定量化することができる。規格化ゲインは授業の大局的な評価を与える指標であるのに対して、PIゲインは個々の問題で問われている概念が学生同士の教え合いによってどの程度理解されたかを示す、局所的な指標といえる（新田、2011）。また、数理的な考察（Nitta、2010）によると、PIゲインは二次関数を示す理論曲線として定式化することができ、この関係を標準曲線として利用することにより、個々の問題のPIゲインが標準よりも高いか低いかを評価することができる。PIゲインが標準よりも低い問題は、学生同士の教え合いによって正答率が上がらなかったこ

^{*1} 石川県立大学 生物資源環境学部 食品科学科

となる。PI ゲインは、PI を導入した授業において、出題する問題の内容あるいは難易度が適切かどうかを判断するための指標として用いることができる。

一方、PI を授業に導入した場合、学習効果は本当に向上するのだろうか？その視点で分析した論文として、以下の二件の論文を挙げ、PI の学習効果における特徴および限界を論じることとする。

蔣・溝上 (2014) は、授業外学習に対する学生の学習アプローチに PI が与える影響を分析した。著者らは、学生が PI を導入した授業を経験することにより、時間外学習に積極的に取り組む学生とそうでない学生のあいだで、学習アプローチに変化が見られたかどうか検討した。その結果 PI の導入前後で、授業外学習高群では深い学習アプローチ得点に変化が見られず、授業外学習低群では深い学習アプローチ得点が低下することをあきらかにした。著者らは、外的活動（話し合いやグループワークなど）を強調するアクティブラーニングは、学生の学習を深めるのではなく、むしろ学生を逆の効果に導く可能性があることを示唆している。

山元・向後 (2016) は、PI を取り入れた授業が、テスト形式別（真偽式、完成式、記述式）のテスト成績に及ぼす影響を検証した。その結果、完成式テストにおいて PI によって学習効果の向上が見られた一方で、真偽式および記述式では向上が見られなかった。著者らは、PI において、問題を自分で考える、自分の主張を説明する、周囲の主張および教師の解説を聞く活動を通して自分自身の学習内容の理解度を把握する、というプロセスによって、完成式テストの成績が高くなったと推察した。一方で、真偽式テストでは正誤を問う出題形式であるから偶然による正解の可能性があるため PI による学習効果が見られず、また、記述式テスト（知識だけでなく思考力や表現力などが総合的に評価される）では、PI によってある一定量の知識は定着するが、表面的な理解にとどまった可能性がある、と考察した。

以上の二件の論文からは、PI は知識の定着には一定の効果が見られるものの、教師が授業中に出題した問題の解答を投票させて、グループで正誤を話し合わせれば理解が深くなるという形式主義にとらわれてしまい、学生ひとりひとりの内的活動への配慮を蔑ろにする危険性があると考えられる。したがって、PI が有効に機能するためには、学生同士のコミュニケーションが活発におこなわれること、および、学生が授業に積極的に参加する意識を持つこと、が重要と考えられる。

本研究の目的は、PI を導入した授業において、学生の内的活動を刺激し、コミュニケーションを活発化するための方法を実践し、それらの授業内活動

が PI の学習効果を高めるかどうか、PI ゲインを指標として検証することである。

2. 方法

PI は、I 大学 1 年次対象の有機化学にて実施した。投票端末として学生ひとりずつにクリッカー（KEEPPAD JAPAN）を貸与した。選択肢問題の出題および投票結果の集計には、MacOS で動作する TurningPoint（KEEPPAD JAPAN）を使用した。学生同士の議論のグループサイズは 2 から 3 名とした。2015 年度から 2018 年度までの 4 年間で研究対象とした。受講者数は 135 から 141 名であった。

全 15 回の授業のうち、すべての授業回で PI を実施した。第 1 回投票で正答率が 80% 以上になった問題ではグループでの議論および第 2 回投票を省略した。

2015 および 2016 年度では、学生の座席は自由とした。また、PI 以外のグループワークは実施しなかった。

2017 および 2018 年度では、PI の効果を高めるための方策として、以下の授業内活動を導入した。

- (1) 座席をくじ引きで決めて、毎回、議論のグループを変える。
- (2) グループごとに分子模型を 1 セット貸与して、授業中に模型を組み立てる課題を出す。

なお、問題の内容はほぼ同じとした。授業中に出題した選択肢問題のうち、グループでの議論および第 2 回投票を実施した問題それぞれについて、議論前正答率と議論後正答率を集計した。

3. 結果

各実施年度の、受講者数、授業内容、議論前正答率、議論後正答率および PI ゲインの集計結果を表 1 に示す。PI を実施した問題のうち、PI ゲインが負になった問題の比率は 8 から 12% であった。負の PI ゲインは、議論によって正答が誤答に誘導されたことを示すので、PI が有効に機能していないことを意味する。

2015/2016 年度および 2017/2018 年度の PI ゲインの統計量を表 2 に示す。Hake (1998) によると、規格化ゲインは相互作用型授業では 0.49、講義型授業では 0.23 と示されている。本研究では、PI ゲインの平均値が約 0.5 であったことから、PI を導入した授業が Hake の言う相互作用型授業と同等の効果をあげていることがわかった。2015/2016 年度および 2017/2018 年度のあいだで PI ゲインの平均値が約 0.03 ポイント上昇しているが、有意な差ではなかった (5% 水準)。

各問題の議論前正答率に対する議論後正答率を

表 1 各実施年度の PI 集計結果

イントロ	44	23	-0.38	31	42	0.16	28	35	0.10	22	20	-0.03
原子と分子の構造	78	96	0.82	72	91	0.68						
	70	95	0.83	50	39	-0.22						
	56	70	0.32									
酸と塩基	40	79	0.65	54	92	0.83						
	43	76	0.58	64	85	0.58						
	61	92	0.79	63	84	0.57						
有機化合物の性質1	35	34	-0.02	46	78	0.59	68	96	0.88			
	66	74	0.24	58	91	0.79	63	89	0.70			
	43	81	0.67	53	89	0.77	63	95	0.86			
有機化合物の性質2	70	99	0.97	42	66	0.41	68	99	0.97	61	95	0.87
	30	51	0.30	69	96	0.87	47	50	0.06	47	70	0.43
	67	94	0.82				59	94	0.85	66	100	1.00
有機化合物の性質3	17	15	-0.02	47	87	0.75	54	90	0.78	41	80	0.66
	63	83	0.54	41	75	0.58	31	26	-0.07	30	37	0.10
	61	87	0.67	20	15	-0.06						
アルケンの構造	35	68	0.51	45	73	0.51	52	91	0.81	49	84	0.69
	67	91	0.73	59	82	0.56	59	95	0.88	73	87	0.52
	58	81	0.55							40	49	0.15
反応機構	79	94	0.71	55	76	0.47	42	72	0.52	38	78	0.65
										66	94	0.82
マルコウニコフ則	40	82	0.70	33	78	0.67	38	77	0.63	50	76	0.52
	66	92	0.76	72	97	0.89				66	90	0.71
	59	92	0.80	73	95	0.81						
				55	86	0.69						
アルケンの反応	57	88	0.72	36	59	0.36	36	62	0.41	32	57	0.37
	24	28	0.05	9	6	-0.03	9	3	-0.07	5	1	-0.04
				30	45	0.21	43	59	0.28	44	58	0.25
				16	21	0.06						
芳香族1	69	95	0.84	55	84	0.64	42	87	0.78	61	88	0.69
				54	92	0.83	52	88	0.75	53	93	0.85
							56	81	0.57	54	92	0.83
芳香族2	47	58	0.21	22	8	-0.18	17	16	-0.01	23	15	-0.10
	46	65	0.35	48	75	0.52	50	77	0.54	32	33	0.01
	23	31	0.10	30	37	0.10	40	51	0.18	27	31	0.05
芳香族3	47	66	0.36	64	87	0.64	63	87	0.65	67	94	0.82
	54	70	0.35	60	86	0.65	52	77	0.52	50	73	0.46
	31	31	0.00	32	31	-0.01	39	59	0.33	59	83	0.59
							29	29	0.00	36	38	0.03
立体化学1	67	94	0.82	64	87	0.64	70	86	0.53	67	86	0.58
	64	81	0.47	61	88	0.69				57	78	0.49
	42	60	0.31	71	80	0.31				61	80	0.49
				57	66	0.21						
立体化学2	64	78	0.39	58	78	0.48	67	93	0.79	68	85	0.53
	60	84	0.60	75	96	0.84	69	93	0.77			
							53	94	0.87			
ハロゲン化アルキル1							66	95	0.85	60	81	0.53
ハロゲン化アルキル2							58	95	0.88	47	72	0.47
							45	90	0.82	37	69	0.51
PI問題数の合計			37			39			33			33
PIゲインが負になった問題の比率 (%)			8.11			12.82			9.09			9.09

表 2 PI ゲインの統計量

実施年度	問題数	平均値	標準偏差
2015/2016	76	0.486	0.311
2017/2018	66	0.514	0.316

2015/2016 年度 (図 1) および 2017/2018 年度 (図 2) に分けてプロットした。このグラフの対角線(点線)では PI ゲインがゼロであるから、対角線より下の領域にプロットされた問題では PI が有効に機能していないことを意味する。2015/2016 年度に対して 2017/2018 年度では、負の PI ゲインを示す問題数が 8 件から 6 件に減少し、かつ、対角線に接近していた。

Nitta (2010) による数理的解析では、PI における議論前後の正答率変化は二次関数 (図 1 および図 2 の実線) を示す理論曲線として定式化できることが示されている (式 2)。

$$\rho_2 = \rho_1 + \rho_1(1 - \rho_1) \quad (2)$$

ρ_1 : 議論前正答率

ρ_2 : 議論後正答率

したがって、この理論曲線との一致の程度によって、PI の効果を定量的に分析することができる。2015/2016 年度および 2017/2018 年度において、議論後正答率が理論値とどれだけずれているかを表 3 に集計した。この表から、(1) 両方の年度で平均値がほぼゼロであり、理論値による定式化が可能であること、(2) 2015/2016 年度と比較して 2017/2018 年度では歪度の絶対値が減少しており、正規分布に近づいていること、がわかった。

議論後正答率と PI 理論値 (図 1 および図 2 の実線) のずれが正規性をもつかどうか、Q-Q プロット (図 3) で確認した。図 3 によると、いずれの年度でも PI 理論値からのずれは概ね正規分布を示した。したがって、授業全体として、PI は機能していると考えられた。しかし、2015/2016 年度では、正規分布から大きく外れる問題が 3 件あった (図 3 の*)。

これらは、他の問題よりも、議論前正答率に比べて議論後正答率が著しく悪いことを示している。そのような事例は、2017/2018 年度には見られなかった。

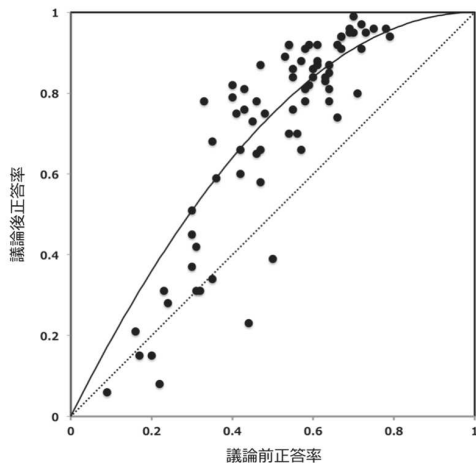


図1 議論前後の正答率（2015/2016 年度）

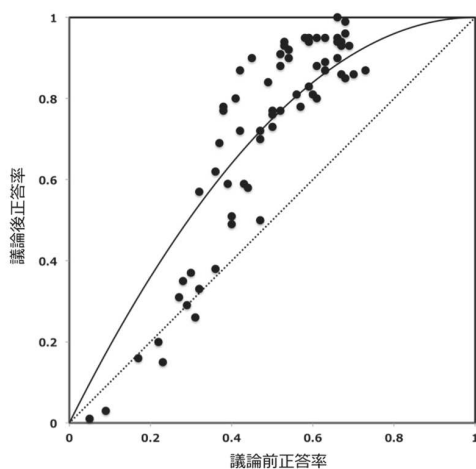


図2 議論前後の正答率（2017/2018 年度）

表3 議論後正答率と理論値のずれの統計量

実施 年度	平均値	標準 偏差	最大値	最小値	歪度
2015/2016	-0.021	0.121	0.229	-0.456	-0.753
2017/2018	-0.001	0.119	0.206	-0.264	-0.535

4. 考察

4年間で出題した全問題におけるPIゲインの平均値において、2015/2016年度および2017/2018年度のあいだで有意な差はなかった(表2)。したがって、席をくじ引きで決める、PI以外のグループワークを導入するといった授業内活動は、全体的にはPIの学習効果を高めたとはいえない。

一方で、個々の問題ごとのPIゲインを見ると、負のPIゲイン（話し合いによって正答率が低下したことを意味する）を示す問題数が、2015/2016年度では8件であったのに対して、2017/2018年度では6件に減少し、かつ、それらのPIゲインも上昇した(図1および図2)。また、PI理論値からのずれを示すQ-Qプロット(図3)においても、

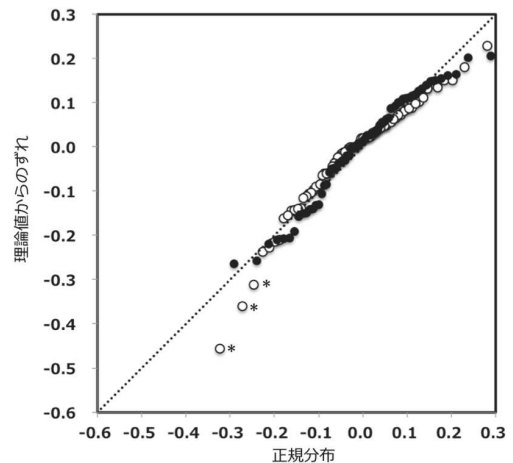


図3 PI理論値からのずれのQ-Qプロット
点線は正規分布を示す。○:2015/2016年度、●:2017/2018年度。
*は正規分布から大きく外れた問題を示す。

2015/2016年度では正規分布から大きく外れる問題が3件存在したが、2017/2018年度ではそのような問題は生じなかった。これらの結果は、それらの問題において、第1回投票後の話し合いが多数派に引きずられることなく正しい方向に収斂したことを示している。このことは、2017/2018年度では授業回ごとに話し合いのグループメンバーが異なり、メンバー間の人間関係が固定されていないために、議論のマンネリ化を避けられたことが原因として考えられる。また、PIへの学生の意識が、より積極的に参加する方向に平準化されたとも言えよう。

以上の考察から、2017/2018年度で導入した授業内活動（席をくじ引きで決める、PI以外のグループワークを導入する）は、授業全体のPIの学習効果を高めるとまでは言えないものの、一部の問題については、学生同士の議論を活性化し、PIがより有効に機能する方向に寄与したと言える。

5. まとめ

本研究では、PIを導入した授業における授業内活動が及ぼす影響について、PIゲインを指標として定量的に分析した。その結果、一部の問題については、学生同士の議論を活性化することが示されたが、授業全体としては学習効果の向上を示すデータは得られなかった。

2017/2018年度の学生から感想を収集したところ、座席のくじ引きについて、話し合いの相手が毎回違うので新鮮な気持ちで授業に参加できた、ふだん話す機会がないひとと話せた、のような肯定的な意見が多かった。

100名を超えるような大人数クラスでは、友達同士で固まって着席する、後方の座席から埋まる、といった行動がよく見られる。座席をくじ引きで指定

することで、学生間のコミュニケーションを活発にする効果があると考えられる。また、分子模型を組み立てる課題については、化学分野に限定される方策ではあるが、分子の構造や化学結合に関する理解を深める効果があると考えられる。また、手作業があるため授業が単調にならない利点もある。

PI の授業設計の際には、選択肢問題の質はもちろん重要であるが、それ以外にも学生同士のコミュニケーションを活発にする、PI 以外のグループワークを実施する、といった授業内活動を導入することで、PI の効果を高めることが可能であろう。今後は、PI ゲイン以外の指標を用いて、授業内活動と PI の学習効果の関係を検証する必要がある。

引用文献

- Hake, R. R. 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66(1): 64-74.
- Mazur, E. 1997. *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Nitta, H. 2010. Mathematical theory of peer-instruction dynamics. *Physics Education Research* 6: 020105-1-020105-4.

小椋賢治. 2016. ピア・インストラクション：大人数クラスにおけるアクティブラーニング. 平成27年度石川県立大学年報 2015: 58-63.

小椋賢治. 2019. ピア・インストラクションの効果を高めるために. 日本教育工学会2019年秋季全国大会講演論文集: 323-324.

栗田佳代子・日本教育研究イノベーションセンター. 2017. *インタラクティブ・ティーチング*. 河合出版. 東京.

蔣妍・溝上慎一. 2014. 学生の学習アプローチに影響を及ぼすピア・インストラクション. *日本教育工学会論文誌*. 38(2): 91-100

新田英雄. 2011. ピア・インストラクションとは何か. *日本物理学会誌*. 66(8): 629 - 632.

新田英雄・松浦執・工藤知草. 2014. ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の実践と分析. *科学教育研究*. 38(1): 12-19.

溝上慎一. 2014. *アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換*. 東信堂. 東京.

山元有子・向後千春. 2016. ピア・インストラクションを取り入れた授業がテスト成績に及ぼす影響. *日本教育工学会研究報告集*. 16(4): 103-110.

The Effect of In-Class Activities on Peer Instruction

Ogura, Kenji (Department of Food Sciences, Ishikawa Prefectural University)

Abstract

Peer instruction is an active learning method that provides students with multiple-choice questions in class and allows them to discuss with each other while referring to the results of their answers. It is suitable for classes with a large number of students and knowledge acquisition. Previous research has shown that the content of choice questions influences the effectiveness of peer instruction. The results showed that peer instruction improved the effectiveness of peer instruction for the same content problems.

Keywords: peer instruction / classroom practice / university education / collaborative learning